

S.I.P.S.: Sistema parametrico semplificato per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento alla scala di area vasta

Piero Barazzuoli, Fausto Capacci, Jenny Migliorini, Roberto Rigati

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Siena. Centro Interdipartimentale di Ricerca sull'Acqua (C.R.A.)

lbarazzuoli@unisi.it; capacci10@unisi.it; migliorini5@unisi.it; rigati@unisi.it

Autore corrispondente: Migliorini Jenny Via Laterina, 8 cap. 53100 Siena. Fax: 0577-233938.

New simplified parametric system to map the intrinsic vulnerability to pollution of the aquifers

ABSTRACT: In order to map the intrinsic vulnerability to pollution of the aquifers in the province of Siena, a new parametric system has been elaborated distinguished by the acronym S.I.P.S. given by the initials of the four parameters considered in the evaluation of the intrinsic vulnerability of the first aquifer: Depth to water, Infiltration, Permeability, Slope. This new application is inspired by the well known SINTACS of which it represents a new simplified interpretation. The S.I.P.S. model is based on the same principal as others: each parameter chosen, divided into intervals of values, is given an increasing number of points according to its importance in the overall final evaluation; the points obtained for each parameter can be summed together or crossed in a matrix, or even multiplied by a string of weights that describe the hydrogeological situation and/or situation of impact, distinctly emphasizing the action and importance of the various parameters.

Key terms: Vulnerability, Planning, Territory, Aquifer

Termini chiave: Vulnerabilità, Pianificazione, Territorio, Acquifero

Riassunto

Per la rappresentazione cartografica della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento della Provincia di Siena è stato messo a punto un nuovo sistema parametrico semplificato.

Il sistema è contraddistinto con l'acronimo S.I.P.S. dalle iniziali dei quattro parametri presi in considerazione per valutare la vulnerabilità intrinseca del primo acquifero: Soggiacenza, Infiltrazione, Permeabilità, acclività della Superficie topografica.

Questa nuova applicazione prende spunto dal già ben noto e collaudato SINTACS e ne rappresenta una nuova lettura e semplificazione.

Il modello S.I.P.S. si basa sullo stesso principio di altri modelli già ampiamente diffusi e applicati:

- Vengono selezionati i parametri mediante i quali si intende valutare la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, tenendo ben presente l'effettiva tipologia, frequenza e validità delle informazioni di base necessarie esistenti ed ottenibili nel territorio di interesse;

- A ciascun parametro selezionato, suddiviso per intervalli di valori e/o tipologie dichiarate, viene attribuito un punteggio crescente in funzione dell'importanza che esso assume nella valutazione complessiva finale;

- I punteggi ottenuti per ciascun parametro possono essere sommati tra loro o incrociati in una matrice o ancora, moltiplicati per stringhe di pesi che descrivano la situazione idrogeologica e/o d'impatto, enfatizzando in

misura diversa l'azione e l'importanza dei vari parametri.

Questo metodo nasce al fine di individuare il migliore compromesso fra il metodo CNR-GNDICI (zonazione per aree omogenee), adatto per valutazione sinottiche, e la metodologia strettamente parametrica SINTACS, ottimale per valutazioni di un certo dettaglio. Tale esigenza può emergere quando la valutazione della vulnerabilità viene effettuata con finalità strategiche e pianificatorie, per grandi aree, con una non uniformità della distribuzione di dati idrogeologici come può verificarsi su di un territorio provinciale.

Introduzione

La necessità di formulare una nuova metodologia per la rappresentazione cartografica della Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento è nata durante la revisione del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Siena (L.R. n°1 – 2005).

L'obiettivo proposto era quello di restituire una carta contenente una zonazione delle aree maggiormente esposte al rischio di contaminazione per le acque sotterranee, utilizzabile a medio – lungo termine, in grado di soddisfare esigenze sia strategiche che pianificatorie per la programmazione della difesa e dell'utilizzo dell'acqua alla scala di area vasta (Civita et alii, 1995).

Per questo scopo sono state prese in considerazione due metodologie già note in letteratura: quella della Zonazione per aree omogenee metodo base CNR-GNDICI

(Civita, 1987, 1990, 1994) e quella del metodo parametrico SINTACS (Civita & De Maio, 1997, 2006).

La scelta operativa circa l'adozione di una delle anzidette metodologie dipende, ovviamente, dalla tipologia dei dati a disposizione e dalla scala di realizzazione.

Nella fattispecie, trovandoci di fronte al problema di redigere una nuova carta della vulnerabilità di area vasta e considerando che:

1- Il sistema di zonazione per aree omogenee (CNR-GNDCl), pur presentando un ampio campo di applicazioni e essendo utilizzabile quando le informazioni sono scarse e disperse sul territorio e per denominatori di scala medio-grandi, non offre le necessarie garanzie di accuratezza per redigere una nuova carta che sia di riferimento pianificatorio e vincolistico;

2- Il sistema strettamente parametrico (SINTACS) può essere utilizzato per elevate densità e buona precisione di dati a disposizione, cosa non possibile per ciascun acquifero del territorio provinciale.

Ciò premesso e considerata la non uniformità della distribuzione di dati idrogeologici riguardanti gli acquiferi ricadenti nel territorio provinciale, si è deciso di elaborare una nuova metodologia semiparametrica (S.I.P.S.) ed a tal fine si è sperimentato e poi individuato come idoneo questo nuovo criterio che utilizza indici di tipo morfologico, litologico, strutturale ed idrogeologico, determinabili in modo quantitativo, qualitativo e/o relativo sull'intero territorio. Le informazioni necessarie alla sua applicazione riguardano, oltre alle modalità di circolazione idrica all'interno dei litotipi e la loro permeabilità, il tipo di copertura superficiale, la soggiacenza della falda, la capacità di infiltrazione e l'acclività della superficie topografica; il tutto su base formazionale, avendo quindi come punto di partenza una Carta Geologica di buon dettaglio.

Il metodo S.I.P.S.

È necessario premettere che la trattazione relativa alla valutazione della vulnerabilità intrinseca di un acquifero dovrebbe essere effettuata caso per caso tenendo conto delle caratteristiche fisiche e chimiche di ogni singolo inquinante presente, del tipo di fonte, dei quantitativi, dei modi e dei tempi di sversamento.

Sarebbe scientificamente ineccepibile e realizzabile per aree limitate, delle quali si vuole valutare il potenziale di inquinamento di un centro di pericolo, ma un tale intento non ha alcuna praticità quando la valutazione della vulnerabilità viene effettuata con finalità pianificatorie, per grandi aree, come un territorio provinciale. Per questa ragione è stato messo a punto un sistema di elaborazione generalizzato dei dati di base disponibili all'interno del territorio della Provincia di Siena.

L'obiettivo prefissato è stato quello di redigere una metodologia applicabile su area vasta, come il metodo CNR-GNDCl, in grado però di omogeneizzare e rendere meno soggettivi i dati disponibili sul territorio, come la

metodologia parametrica SINTACS.

Il S.I.P.S. si ispira proprio a quest'ultima metodologia e a questa si accosta per la scelta sia dei parametri che dei punteggi per le varie grandezze che entrano in gioco.

Infatti in un territorio di "area vasta" difficilmente si possiedono le conoscenze dettagliate che usualmente si hanno per il singolo acquifero; altresì ci sono alcuni parametri che comunque sono facilmente ricavabili e che quindi possono utilizzarsi in maniera oggettiva conferendogli un proprio peso nella valutazione della vulnerabilità intrinseca.

Questa è appunto la "filosofia" di questo metodo che è contraddistinto con l'acronimo S.I.P.S. dalle iniziali dei quattro parametri presi in considerazione per valutare la vulnerabilità intrinseca del primo acquifero: Soggiacenza, Infiltrazione, Permeabilità e acclività della Superficie topografica (Tabella 1).

Così come prevede il metodo SINTACS (Civita & De Maio, 1997), metodo al quale il S.I.P.S. si ispira, a ciascun parametro, suddiviso per intervalli di valore e/o tipologie dichiarate, viene attribuito un punteggio, in funzione dell'importanza che esso assume nella valutazione complessiva finale della vulnerabilità.

Come si osserva dalla Tabella 1, sia le classi che i punteggi ad esse assegnati sono frutto di un'elaborazione del metodo SINTACS (Civita & De Maio, 1997) ad eccezione del parametro permeabilità, del quale, in seguito, parleremo più in dettaglio.

I punteggi così ottenuti per ciascun parametro vengono infine moltiplicati per stringhe di pesi correlati a situazioni ambientali e/o antropiche, che descrivono la situazione di impatto. In particolare, il sistema S.I.P.S. prevede, a differenza del metodo SINTACS (Civita & De Maio, 1997), solo due situazioni ambientali distinguibili su base formazionale-idrogeologica, a cui si attribuisce un diverso peso: situazione in cui la permeabilità della formazione affiorante è Molto Elevata (classe 1) e situazioni dove la permeabilità della formazione affiorante è diversa dalla classe 1, vale a dire ricadente nelle classi di permeabilità 2a, 2b, 3a, 3b e 4 (Tabelle 2 e 7). Le classi di permeabilità sopra citate si riferiscono a valutazioni di permeabilità relativa dei terreni affioranti, quindi sono valutazioni di permeabilità attribuite sostanzialmente su base formazionale. La scelta di due situazioni ambientali è stata guidata dal fatto che si volevano tutelare gli acquiferi strategici ricadenti nella classe di permeabilità 1 presenti sul territorio della Provincia di Siena; essendo un'analisi di area vasta, non sempre è possibile dettagliare l'uso antropico del territorio, mentre è conosciuta geograficamente la delimitazione degli acquiferi strategici (CISS Regione Toscana, DGRT n.225/2003) e ciò ha fatto sì che, nel caso in esame, questa fosse la migliore strada per individuare le situazioni ambientali.

Come sopra detto, la scelta di sole due situazioni ambientali nasce dalla necessità pianificatoria di salvaguardare gli acquiferi principali e strategici della Provincia di

Siena. Questi sono costituiti prevalentemente da rocce calcaree e da vulcaniti la cui fonte di ricarica è costituita prevalentemente dall'acqua meteorica e quindi le loro aree di alimentazione corrispondono alle loro zone di affioramento che ricadono nella classe 1 di permeabilità.

Operativamente, ed in modo analogo a quanto previsto per il metodo SINTACS (Civita & De Maio, 1997), il metodo S.I.P.S. prevede la sovrapposizione delle quattro carte di input, relative ai quattro parametri sopra elencati. Ogni dato di input è suddiviso in classi. A ciascun tematismo viene assegnato un peso e a ciascuna classe un punteggio. La carta risultante è data dalla somma algebrica dei quattro prodotti (punteggio x peso) che per ciascun tematismo sono stati attribuiti a quella particolare area, secondo le modalità del calcolo algebrico su dati raster, ovvero: $Vulnerabilità = Somma (punteggio_i \times peso_i)$.

Descrizione dei parametri S.I.P.S.

Soggiacenza

Si definisce Soggiacenza (S), nel caso di acquiferi a falda libera, la profondità della superficie piezometrica misurata rispetto al piano campagna. Tale parametro è importante in quanto, dal suo valore assoluto e dalle caratteristiche idrogeologiche dell'insaturo, dipende il Tempo di Transito (Time Of Travel, T.O.T.) di un qualsiasi inquinante fluido o idroportato prima di raggiungere la falda. Avendo con questo studio la finalità di proteggere il primo acquifero affiorante, ecco che a tal fine la soggiacenza considerata riguarda solo acquiferi a falda libera. Quindi dovendo preservare dall'inquinamento il primo acquifero presente al di sotto del piano campagna, si fa sempre riferimento ai litotipi affioranti, in quanto formazioni idrogeologiche, quindi gli acquiferi considerati o sono a falda libera (il terreno affiorante è più o meno permeabile) oppure non vi sono acquiferi perché, anche se presenti al di sotto del piano campagna, sono caratterizzati al tetto da un terreno impermeabile che funge da protezione in caso di sversamento di un possibile inquinante.

Riguardo tale parametro e con il fine di porsi nella condizione più cautelativa possibile, occorre considerare le misure minime di Soggiacenza relative ai massimi valori piezometrici registrati nell'acquifero d'interesse. Qualora gli acquiferi esaminati siano stati analizzati idrogeologicamente (ad esempio carte piezometriche), è possibile ricavare il parametro soggiacenza per semplice sottrazione (attraverso, ad esempio, l'utilizzo di software G.I.S.) tra il modello digitale del terreno (D.T.M., Digital Terrain Model) e la carta delle isopiezometriche.

È ovvio che il metodo, pur prevedendo la conoscenza della soggiacenza della falda, è stato altresì pensato per un uso "pianificatorio" della vulnerabilità e quindi per "area vasta". È così abbastanza probabile che su superfici di migliaia di Km² vi siano lacune conoscitive di questo parametro. In quel caso, e sempre secondo il principio di cautela, e solo in quel caso si fa ricorso alla cosiddetta

"soggiacenza teorica" i cui limiti sono stati scelti con i criteri sotto riportati.

La scelta degli intervalli di "soggiacenza teorica" è stata fatta tenendo presente soprattutto l'aspetto pianificatorio, anche se non solo quello, ispirato cioè al concetto di maggior "cautela". Infatti, per quanto concerne le rocce incoerenti classificate a permeabilità da buona a elevata (comprendente prevalentemente le alluvioni attuali, recenti e terrazzate), la "soggiacenza teorica", supposta inferiore a 10 m dal p.c., impone un innalzamento cautelativo dell'indice di vulnerabilità (gli si assegna infatti il punteggio massimo), risulta comunque anche realisticamente attinente alle profondità di falde in piane alluvionali idraulicamente collegate al corso d'acqua che vi scorre.

Per quanto concerne invece le rocce coerenti classificate a permeabilità molto elevata e media, queste sono presenti in affioramento in ambiente morfologico collinare, pertanto si è ipotizzata una "soggiacenza teorica" maggiore di 10 m, ma per tener fede al principio di cautela, questa è stata limitata ad un massimo di 50 m (gli si assegna infatti un punteggio intermedio), anche se in alcune aree la soggiacenza è ipotizzabile a profondità maggiori.

In relazione, infine, alla rocce con permeabilità bassa o molto bassa, si è invece fatto un ragionamento pianificatorio di segno opposto ai precedenti in quanto queste rocce non ospitano acquiferi di rilievo. Come è noto nella pianificazione territoriale bisogna essere molto rigidi nel tutelare (disincentivazione) ciò che si reputa importante per la collettività, e nel contempo relativamente elastici (incentivazione) laddove non sembrano sussistere particolari problemi. Quanto esposto, è ovvio, vale solamente se non si hanno e non si avranno mai a disposizione misure della reale soggiacenza, perché tali valori, se noti, azzerano l'utilizzo di quella "teorica".

Il punteggio S.I.P.S. relativo al parametro S diminuirà perciò all'aumentare della Soggiacenza, come succedeva per il metodo SINTACS, cioè con l'aumentare dello spessore dell'insaturo, assumendo valori compresi tra 8 e 1, come illustrato in Tabella 1.

Per questo parametro si è scelto di ridurre le classi SINTACS a 3, individuando altrettanti range di profondità della superficie piezometrica del primo acquifero rispetto al piano campagna: <10m, >10<50m, >50m.

Infiltrazione efficace

Questo parametro (I) assume una notevole importanza nella valutazione della vulnerabilità poiché da esso dipende, in gran parte, il trascinamento di un inquinante in falda, sebbene esso regoli anche la sua diluizione.

Il parametro è stato calcolato sulla base della pioggia efficace (Water Surplus, Ws) e delle condizioni idrogeologiche superficiali, espresse attraverso il Coefficiente di Infiltrazione Potenziale (C.I.P.) determinato in base alla litologia affiorante ed alla permeabilità relativa della stessa (Barazzuoli et alii, 1993).

Tabella 1: Parametri, Classi di valori e relativi punteggi del sistema semiparametrico S.I.P.S.

Table 1: Parameters, Classes of value and relative scores in the S.I.P.S. semi-parametric system

SIPS PARAMETRI E PUNTEGGI	
SOGGIACENZA	
CLASSE	PUNTEGGIO
S<=10	8
10<S<=50	4
S>50	1
INFILTRAZIONE	
CLASSE	PUNTEGGIO
I<=100	3
100<I<=250	7
250<I<=375	8
I>375	6
PERMEABILITA'	
CLASSE	PUNTEGGIO
1	40
2a	32
2b	24
3a	14
3b	8
4	4
ACCLIVITA'	
CLASSE	PUNTEGGIO
P<=5%	9
5%<P<=12%	7
12%<P<=25%	4
P>25%	1

La pioggia efficace viene valutata sulla base di serie storiche, almeno ventennali, dei dati pluviometrici e termometrici mensili misurati in tutte le stazioni esistenti nell'area di interesse.

Il calcolo totale dell'Infiltrazione efficace viene effettuato sulla base della permeabilità relativa delle rocce affioranti ed assegnando loro, in relazione a tale proprietà, uno specifico valore del coefficiente di infiltrazione.

Come previsto anche nel metodo SINTACS, a seconda del valore assoluto (in mm/anno) del parametro, si assegna il relativo punteggio (Tabella 1) che è crescente con l'aumentare dell'infiltrazione fino all'intervallo 250 – 375 mm/a (prevalenza dell'effetto "trasporto" dell'inquinante), per poi diminuire in modo da tener conto dei processi di dispersione e diluizione attraverso l'insaturo; in questo metodo si è scelto di individuare 4 classi di infiltrazione.

Una volta definito il C.I.P., viene calcolata l'Infiltrazione efficace secondo la seguente relazione:

$$I(mm/a) = W_s \times c.i.p.$$

Permeabilità

La valutazione dei vari gradi di vulnerabilità intrinseca e la relativa zonazione sul territorio in esame è molto legata

e fortemente condizionata dal grado di permeabilità relativo dei terreni affioranti.

Questa proprietà fa riferimento alla facilità di movimento di un fluido attraverso i vuoti interconnessi della matrice solida. Essa rappresenta quindi la capacità che una roccia ha di lasciarsi attraversare dall'acqua in condizioni normali di temperatura e pressione, sotto l'influenza della forza di gravità.

Tabella 2: Stringhe di pesi moltiplicatori adottate per gli impatti del metodo S.I.P.S.

Table 2: Strings of multiplier weights adopted for the impacts of the S.I.P.S. method

IMPATTI		
	PERMEABILITÀ = a classe 2a, 2b, 3a, 3b, 4	PERMEABILITÀ = a classe 1
S	5	2
I	4	4
P	15	15
S	2	5

Questo parametro rappresenta il fulcro del metodo ed in esso vanno a confluire anche gli altri 4 parametri già presenti nel SINTACS (non saturo, acquifero, conducibilità idraulica e copertura del suolo). Il punteggio della Permeabilità è stato attribuito facendo riferimento alle tabelle e ai grafici presenti per quei 4 parametri del metodo SINTACS, semplificando i range di valori proposti e riconducendoli a tipologie di terreni o suoli corrispondenti ad una specifica classe di permeabilità. In questa prima applicazione non si è ritenuto opportuno modificare i punteggi previsti dal metodo SINTACS; tali modifiche potrebbero invece essere effettuate dopo una sperimentazione di tale metodologia anche in altre aree. La scelta di mantenere (seppur cumulati) i pesi dei 4 parametri è dovuta al fatto che questi si ritengono comunque di interesse fondamentale per la valutazione della vulnerabilità. Si è inoltre ritenuto che essi dovessero assumere, nell'insieme, un peso preponderante rispetto agli altri (Soggiacenza, Infiltrazione e acclività della Superficie topografica); tali considerazioni sono sintetizzate appunto nel parametro Permeabilità.

A differenza del SINTACS che evidenzia le differenti caratteristiche all'interno di uno stesso acquifero, con il S.I.P.S., alla scala di area vasta, i 4 parametri sopra elencati possono essere ricondotti e associati alle caratteristiche fisiche e idrogeologiche delle formazioni affioranti e quindi coerentemente sintetizzate in un unico parametro (permeabilità).

Infatti, proprio perché in sede pianificatoria si è costretti a "classificare" tutto il territorio, il grado di permeabilità (relativo o assoluto, se disponibile) è la discriminante dei quattro punti suddetti.

È il primo acquifero ad essere considerato ed è ovvio che la permeabilità intrinseca corrisponda a quella dell'acquifero; conseguentemente anche tutti i parametri

ad esso direttamente relativi (non saturo, acquifero, conducibilità idraulica, copertura del suolo) dipendono strettamente e fondamentalmente dalla permeabilità intrinseca della roccia serbatoio che è anche la formazione idrogeologica affiorante.

Una volta assegnata la classe di permeabilità è stato assegnato il relativo punteggio secondo lo schema riportato in Tabella 3.

Tabella 3: Diagramma per la valutazione del parametro Permeabilità e rispettivo punteggio S.I.P.S.

Table 3: Diagram for evaluation of the Permeability parameter and respective S.I.P.S. score

NON SATURO	
CLASSE	PUNTEGGIO
1	10
2a	8
2b	6
3a	3
3b	2
4	1

ACQUIFERO	
CLASSE	PUNTEGGIO
1	10
2a	8
2b	6
3a	3
3b	2
4	1

CONDUCIBILITA' IDRAULICA	
CLASSE	PUNTEGGIO
1	10
2a	8
2b	6
3a	3
3b	1
4	1

COFERTURA SUOLO	
CLASSE	PUNTEGGIO
1	10
2a	8
2b	6
3a	5
3b	3
4	1

PERMEABILITA'	
CLASSE	PUNTEGGIO
1	40
2a	32
2b	24
3a	14
3b	8
4	4

Dalla Tabella 3 si evince, come precedentemente accennato, il motivo per cui i punteggi di questo parametro siano più alti rispetto agli altri tre parametri. Conseguentemente, nella semplificazione metodologica da noi sperimentata ed applicata, la sola definizione del grado di permeabilità consente subito di individuare automaticamente il peso "complessivo" da applicare alle classi di questo parametro per la valutazione della relativa vulnerabilità intrinseca.

Nel caso della permeabilità, si può anche ripensare alla definizione sia delle classi che dei punteggi; si possono, infatti, riformulare, tenendo conto del dettaglio dei dati a disposizione e di conseguenza, si può sia incrementare il numero delle classi, nel caso in cui i dati a disposizione siano molti, sia diminuirne il numero nel caso si disponga di poche informazioni. Questi accorgimenti potranno consentire all'operatore di individuare con il miglior dettaglio possibile le variazioni qualitative (e se presenti quantitative) del parametro.

Acclività della Superficie topografica

Da tale parametro (S) dipende il ruscellamento che si

produce a parità di precipitazione e, di conseguenza, la velocità di spostamento dell'acqua (e, quindi, di un inquinante fluido o idroveicolato) sulla superficie prima di infiltrarsi.

Il principio che il metodo S.I.P.S., come il metodo SINTACS (Civita & De Maio, 1997), segue è quello di attribuire un punteggio elevato a pendenze molto blande, che corrispondono a parti di territorio in cui l'acqua ed un eventuale inquinante ristagnano, favorendone l'infiltrazione.

Le classi di pendenza scelte per la discretizzazione di tale parametro ai fini dell'applicazione del metodo SIPS sono quattro ed i relativi pesi sono riportati in Tabella 1.

Valutazione della Vulnerabilità intrinseca S.I.P.S.

Il metodo S.I.P.S., come ampiamente ripetuto, prende ispirazione dal sistema parametrico SINTACS e come tale è stato concepito per poter moltiplicare i punteggi ottenuti con delle stringhe di pesi preimpostate, che contemplano le possibili situazioni di impatto dell'area studiata. Tali pesi servono per esaltare l'importanza di alcuni dei 4 parametri rispetto agli altri, lasciando all'analista ampi spazi decisionali, purché sia rispettata la seguente relazione:

$$\sum_{i=1}^4 W_i = \text{costante} = 76$$

dove W_i è il peso relativo della stringa (scenario di impatto) scelta.

Le diverse stringhe di pesi distinte in base alle situazioni di impatto contemplate sono mostrate in Tabella 2.

Per ciascun elemento della maglia che discretizza l'acquifero o la porzione di territorio studiato, viene identificato lo scenario di impatto corrispondente e, di conseguenza, si calcolano i pesi relativi ai 4 parametri del metodo che la stringa scelta prevede.

L'indice di Vulnerabilità Intrinseca (ISIPS) si ottiene, per ogni scenario di impatto, attraverso la seguente relazione:

$$ISIPS = \sum_{i=1}^4 P_i \times W_i$$

dove:

P_i rappresenta il punteggio di ciascuno dei 4 parametri considerati dal metodo;

W_i è il peso relativo della stringa (scenario di impatto) scelta.

Da tale relazione si ottengono dei valori numerici che rappresentano la vulnerabilità intrinseca del territorio in studio. Tali valori possono variare da un minimo di 76 ad un massimo di 707.

Per rendere superabile il problema di una suddivisione dell'intero intervallo di valori (da 76 a 707) in classi di vulnerabilità che sia facilmente rappresentabile in carta e di facile lettura, tutti i valori ottenuti con il metodo parametrico vengono trattati e discretizzati in modo tale da

ottenere 4 gradi di vulnerabilità. Gli intervalli di valori sono definiti dai cosiddetti punteggi grezzi, che rappresentano l'Indice S.I.P.S. (ISGR) tal quale.

Per semplicità di lettura, i punteggi grezzi vengono poi normalizzati, cioè vengono espressi in percentuale (Tabella 4), attraverso la seguente trasformazione:

$$\text{ISNO} = [(\text{ISGR} - \text{ISMN})/(\text{ISMAX} - \text{ISMN})] \times 100$$

dove:

ISNO è l'Indice normalizzato;

ISMAX e ISMN sono, rispettivamente, i valori massimo e minimo dell'Indice grezzo, ovvero 707 e 76.

Tabella 4: Intervalli e Gradi di Vulnerabilità intrinseca (punteggi normalizzati)

Table 4: Intervals and Degrees of intrinsic Vulnerability (normalized scores)

NORMALIZZAZIONE	
[(IS-76)*100]/631	
IS _{MIN}	76
IS _{MAX}	707
IS _{MIN-ISMAX}	631

GRADO DI VULNERABILITA'			
GRADO	PUNTEGGIO		CLASSE
Elevato	80 - 100		1
Medio alto	50 - 79		2
Medio basso	25 - 49		3
Basso	0 - 24		4

Applicazione della metodologia S.I.P.S. alla Provincia di Siena

La nuova metodologia è stata applicata al territorio della Provincia di Siena.

Per la realizzazione delle quattro carte di input si è proceduto con la valutazione e classificazione dei quattro parametri richiesti dal metodo.

Per quanto riguarda il primo parametro, la soggiacenza (Figura 1), si è spesso dovuto sopperire alla carenza del dato; infatti alcune aree risultavano prive in tal senso di informazioni. Si è quindi scelto di assegnare una "soggiacenza teorica" alla prima falda (seppur ben ponderata in relazione alle caratteristiche idrogeologiche delle formazioni presenti di cui avevamo informazioni), mettendo a punto delle preventive assunzioni teoriche e alcune fasi operative per la realizzazione pratica del relativo elaborato cartografico.

Tale procedura operativa prevede l'individuazione del grado di permeabilità delle formazioni affioranti e, successivamente l'assegnazione, a queste, di un range di pro-

fondità teorica della falda.



Figura 1: Carta della Soggiacenza classificata secondo il metodo S.I.P.S.

Figure 1: Map of depth to water table classified according to the S.I.P.S. method

Infatti, grazie alle conoscenze in nostro possesso del territorio senese, si è considerato che nel caso dei depositi alluvionali e detritici (di qualsiasi genere) e comunque permeabili, la falda non si trovi mai a profondità superiori ai 10 metri dal piano campagna, mentre nel caso di formazioni rocciose permeabili, quali calcari, vulcaniti, arenarie ecc., si è ritenuta probabile una profondità della falda compresa tra i 10 e i 50 metri.

Una soggiacenza maggiore di 50 metri è stata invece empiricamente prevista laddove le formazioni presenti risultavano classificate a permeabilità relativa bassa o nulla.

Per sintetizzare e rendere più agevoli le operazioni sono state individuate, sulla base delle conoscenze geologiche dei terreni presenti nel territorio della Provincia di Siena, le relazioni tra classe di permeabilità relativa e soggiacenza "teorica" della falda così come riportate in Tabella 5 ed in base ai criteri esposti in precedenza.

Tabella 5: Corrispondenza tra permeabilità e soggiacenza

Table 5: Relationship between permeability and depth to water table

Classe di Permeabilità	SOGGIACENZA	
	CLASSE	PUNTEGGIO
2a, 2b	S<=10	8
1,3a	10<S<=50	4
3b,4	S>50	1

A questo punto sono state analizzate le informazioni disponibili relativamente alla soggiacenza della falda, correggendo così, ove necessario, il valore della soggiacenza "teoricamente assegnata" con quello "reale", come

ad esempio per l'acquifero della Montagnola Senese (Capacci et alii, 2008).

Per quanto riguarda il parametro infiltrazione (Figura 2), per la valutazione della Pioggia efficace (determinata dalla differenza tra precipitazioni medie e valore dell'evapotraspirazione reale calcolato con il metodo di Thornthwaite & Mather, 1957) abbiamo considerato i valori medi relativi all'Anno Idrologico medio 1967-2006, mentre per la valutazione dei coefficienti di infiltrazione potenziale abbiamo assegnato un valore di coefficiente su base formazionale così come riportato in Tabella 6. Per le aree caratterizzate da depositi antropici non è stato previsto alcun valore di coefficiente di infiltrazione (n.c. – non classificabile).

Tabella 6: Correlazione tra Classe di Permeabilità della formazione affiorante e valore del Coefficiente di Infiltrazione Potenziale (C.I.P.). Coefficienti di infiltrazione potenziale (Celico, 1988). Si tratta di percentuali di I_e rispetto a W_s , ricavate da osservazioni su bacini-campione e da esperienze effettuate in varie parti del mondo, basate sul grado di permeabilità dei litotipi affioranti all'interno dell'area considerata (calcari: 90-100%; depositi alluvionali: 80-100%; ecc.): all'interno dei singoli complessi idrogeologici, le variazioni del C.I.P. sono legate a vari fattori quali l'acclività dei versanti, la copertura vegetale, l'alterazione superficiale delle rocce, ecc.

Table 6: Correlation between the Permeability Class of the surface formation and the C.I.P. (Coefficiente di Infiltrazione Potenziale - potential infiltration coefficient). (Celico, 1988). These are the percentages of I_e compared to W_s , obtained from the observation of sample areas and experience carried out in various parts of the world, based on the degree of permeability of the surface soil type in the area examined (limestone: 90-100%; alluvial deposit: 80-100%; etc.): within the individual hydrogeological complex, the variations in C.I.P. are linked to various factors such as the slope gradient, the vegetation, the surface weathering of the rocks, etc.

C.I.P.	
CLASSE	PUNTEGGIO
1	0.9
2a	0.6
2b	0.4
3a	0.25
3b	0.15
4	0

Una volta definito il C.I.P., è stata calcolata l'Infiltrazione efficace ed assegnato il rispettivo punteggio.

Per quanto riguarda il parametro Permeabilità (Figura 3), è stato valutato in senso relativo facendo riferimento alla Carta Geologica in scala 1:10.000 assegnando la classe e il grado di permeabilità più consono alle unità litologiche secondo lo schema sottostante (Tabella 7) ed assegnando poi il relativo punteggio.



Figura 2: Carta dell'infiltrazione Efficace classificata secondo il metodo S.I.P.S.

Figure 2: Map of effective infiltration classified according to the S.I.P.S. method



Figura 3: Carta della Permeabilità classificata secondo il metodo S.I.P.S.

Figure 3: Map of Permeability classified according to the S.I.P.S. method

Tabella 7: Classi e Gradi di Permeabilità

Table 7: Classes and Degrees of Permeability

Permeabilità Classe 1	→	grado molto elevato
Permeabilità Classe 2a	→	grado elevato
Permeabilità Classe 2b	→	grado buono
Permeabilità Classe 3a	→	grado medio
Permeabilità Classe 3b	→	grado basso
Permeabilità Classe 4	→	grado molto basso

Infine, la valutazione dell'acclività della superficie topografica (Figura 4), è stata ottenuta dal DTM (dimensione cella 10 metri) e tramite elaborazioni in ambiente GIS si è proceduto alla riclassificazione della carta della

pendenze.

Attraverso il prodotto “punteggio x peso” sono state ottenute le 4 carte la cui somma algebrica su dati raster ha consentito la realizzazione della Carta della Vulnerabilità Intrinseca della Provincia di Siena (Figura 5).



Figura 4: Carta dell'Acclività della Superficie Topografica classificata secondo il metodo S.I.P.S.

Figure 4: Slope Map of the Topographic Surface classified according to the S.I.P.S. method

Confronto tra la metodologia CNR-GNDCI e la metodologia S.I.P.S., esempio della Provincia di Siena

All'interno di questo studio è stato inoltre eseguito il confronto dei risultati ottenuto attraverso l'applicazione del metodo semiparametrico S.I.P.S. e del metodo per zonazione per aree omogenee CNR-GNDCI per la valutazione della Vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento, metodo, quest'ultimo, reputato fin ora il più idoneo per le analisi di area vasta. Di seguito, Figura 6, si riporta la valutazione della Vulnerabilità Intrinseca secondo il metodo CNR-GNDCI (aggiornamento dei dati utilizzati per la redazione della carta della vulnerabilità degli acquiferi nel PTCP 2000, Barazzuoli et alii, 2002, 2005).

Il confronto tra le due metodologie non evidenzia sostanziali differenze nelle classi 1 e 2 di vulnerabilità, tuttavia è possibile notare uno spostamento del 10% dell'intero territorio provinciale dalla classe 3 alla classe 4 (Tabella 8); l'incremento di informazioni del metodo S.I.P.S. ha permesso quindi, nel territorio in questione, di caratterizzare con maggior precisione le aree a vulnerabilità medio e medio bassa.

Uso pianificatorio della Vulnerabilità S.I.P.S.

Lo scopo della carta della vulnerabilità degli acquiferi è quello di assistere i pianificatori, i responsabili della conduzione di attività produttive e gli amministratori (tecnici e politici) del territorio nella determinazione della suscet-

tibilità delle risorse idriche sotterranee di interesse all'inquinamento prodotto o producibile da fonti diverse (Civita, 1994).

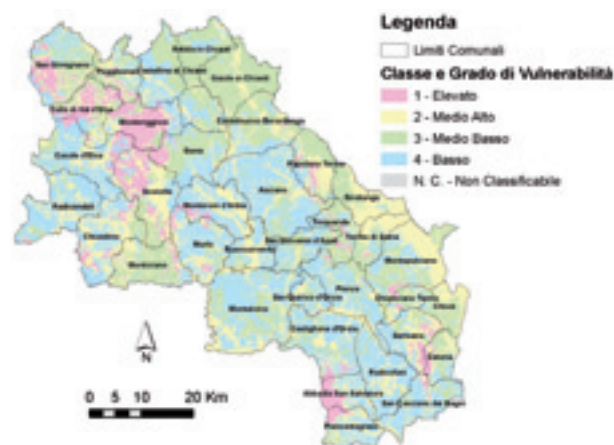


Figura 5: Carta della Vulnerabilità Intrinseca della Provincia di Siena (metodo S.I.P.S.)

Figure 5: Map of Intrinsic Vulnerability of the Province of Siena (S.I.P.S. method)



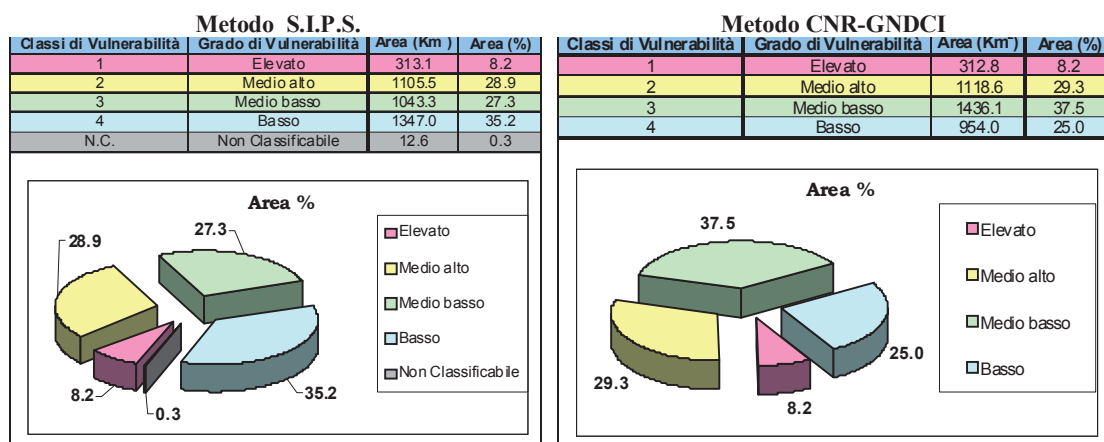
Figura 6: Carta della Vulnerabilità Intrinseca della Provincia di Siena (metodo GNDCI-CNR)

Figure 6: Map of Intrinsic Vulnerability of the Province of Siena (CNR-GNDCI method)

In definitiva, l'utilizzo di una carta della vulnerabilità può permettere una sufficiente oculatezza nelle decisioni e nei giudizi preventivi circa l'ammissibilità di trasformazioni territoriali potenzialmente inquinanti o l'inserimento di nuove attività produttive; ciò significa che la cartografia, ben interpretata, può sostituire, almeno in chiave preliminare, i rilievi necessari al rilascio di licenze ed autorizzazioni da parte dei gestori del territorio.

Tabella 8: Suddivisione del territorio secondo le Classi di Vulnerabilità Intrinseca della Provincia di Siena (confronto metodo S.I.P.S. e CNR-GNDICI)

Table 8: Division of the territory of the Province of Siena according to the Class of Intrinsic Vulnerability (comparison between S.I.P.S. and CNR-GNDICI methods)



In un'ottica di utilizzo opposta, detta cartografia è, senza dubbio, alla base dell'identificazione, in un determinato intorno territoriale a livello comprensoriale o regionale, di zone che si prestano, in assoluto o comparativamente ad altre, per l'installazione di attività potenzialmente inquinanti (Civita, 1994).

Infine, nel campo della prevenzione del pericolo di inquinamento delle fonti idropotabili e della formazione di riserve strategiche in aree vincolate onde poter disporre, all'occorrenza, di risorse idriche integrative, sostitutive o di emergenza, l'uso delle carte della vulnerabilità è non soltanto necessario ma effettivamente indispensabile. L'identificazione e l'imposizione rapida ed oculata di vincoli è impossibile senza l'esistenza di un documento di piano che, appunto, mostri la consistenza e la tipologia delle attività esistenti a fronte della suscettibilità dell'acquifero ad essere contaminato.

Al fine di tutelare gli acquiferi presenti nel proprio territorio, all'interno del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Siena (Barazzuoli et alii, 2010), è stato previsto il passaggio dai quattro gradi di vulnerabilità a tre classi di Sensibilità, come mostrato in Tabella 9, dove:

la classe di Sensibilità 1 corrisponde ad "Aree a vincolo elevato";

la classe di Sensibilità 2 corrisponde ad "Aree a vincolo medio";

la classe di Sensibilità 3 corrisponde ad "Aree non vincolate".

Norme per la salvaguardia degli acquiferi

Dato che l'obiettivo principale delle analisi di vulnerabilità di area vasta è quello pianificatorio, da questo lavoro di zonazione sono derivate, per il territorio della Provincia di Siena, non solo l'individuazione di aree a maggiore pericolosità di inquinamento, ma anche una normativa

che consenta preventivamente di diminuire il rischio di inquinamento accidentale. Quindi per completezza dell'informazione, riportiamo qui di seguito un estratto delle Norme legate alla Carta della Sensibilità proposte per il PTCP 2010 di Siena che appunto tendono a perseguire tale obiettivo.

Tabella 9: Relazione fra i Gradi di Vulnerabilità e le Classi di Sensibilità

Table 9: Relationship between Degree of Vulnerability and Sensitivity Class

Grado di Vulnerabilità	Classe di Sensibilità
Elevata	1
Medio - alto	2
Medio - basso ⇒ Basso	3

I vincoli previsti dal PTCP di Siena per l'uso del territorio, ricadente nelle aree sensibili di classe 1 e 2 sono riportate nelle relative Norme, il cui disposto ha la finalità di rendere minimo (o comunque accettabile) il rischio di inquinamento.

La distribuzione areale delle classi di Sensibilità a scala di Provincia, di Circondario e di Comune è riportata in Tabella 10 e in Figura 7.

10.1 Tutela degli acquiferi

Art. 10.1.1 Gli obiettivi di gestione degli acquiferi

1. In materia di acquiferi, il PTC persegue tre obiettivi complementari:

–tutelare gli acquiferi strategici, in ispecie quelli dell'Amiata e della zona Monte Maggio/Montagnola senese, che racchiudono risorse idropotabili fondamentali per la provincia di Siena, nonché quelli della dorsale Ra-

polano-M. Cetona, che costituiscono le aree di ricarica dei sistemi termali;

- tutelare in maniera diffusa i corpi idrici sotterranei, con discipline differenziate in funzione del loro grado di vulnerabilità;

- tutelare le aree di alimentazione delle opere di captazione per uso idropotabile e termale.

Tabella 10: Suddivisione del territorio in base al Grado di Sensibilità

Table 10: Division of the territory according to the Degree of Sensitivity

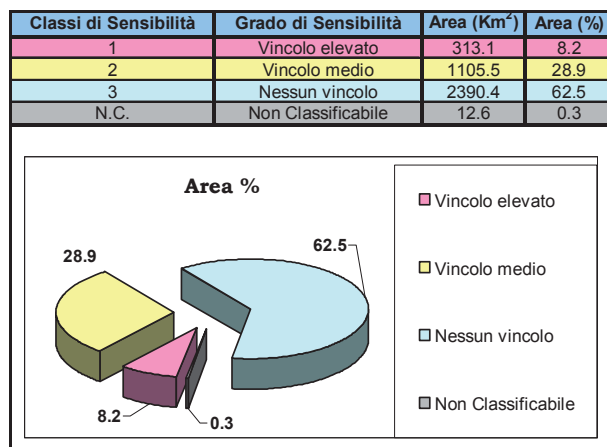


Figura 7: Carta della Sensibilità della Provincia di Siena
Figure 7: Map of Sensitivity in the Province of Siena

Con l'obiettivo di giungere ad una migliore e più aggiornata conoscenza idrogeologica del territorio tramite la realizzazione di un data-base dei pozzi e dei prelievi, l'Amministrazione Provinciale, nella sua azione di tutela e gestione della risorsa idrica sotterranea in materia di pozzi per acqua di qualsiasi tipologia, ivi compresa quella ad uso domestico, intende richiedere, anche in aggiunta a quanto richiesto dalle leggi e dai regolamenti vigen-

ti, tutta una serie di adempimenti e dati tecnico scientifici in relazione all'opera di captazione.

La regolamentazione e la progettazione di quanto sopra è demandata a modifiche da inserire nel regolamento per le autorizzazioni e concessioni dei prelievi di acque superficiali e sotterranee e delle opere idrauliche interferenti con il reticolo idrografico, modifiche da effettuarsi entro 1 anno dall'approvazione del presente PTCP.

Art. 10.1.2 Disciplina delle aree sensibili di classe 1

Nelle aree sensibili di classe 1, ove sono ricompresi gli acquiferi strategici della provincia, così come individuate nella Tav. ST IG 1 i comuni assicurano vengano esclusi qualsiasi uso od attività in grado di generare, in maniera effettivamente significativa, l'infiltrazione nelle falde di sostanze inquinanti oppure di diminuire in modo significativo- ad esempio a causa di scavi, perforazioni o movimenti di terra rilevanti - il tempo di percolazione delle acque dalla superficie all'acquifero sottostante, così come specificato nei commi successivi.

Tra gli usi e le attività da ritenersi incompatibili con la tutela delle aree sensibili di classe 1 sono annoverati:

1. la realizzazione di impianti di stoccaggio o trattamento rifiuti di qualsiasi tipo con esclusione di isole ecologiche aree di trasferimento, e aree attrezzate comunali per la raccolta differenziata di rifiuti solidi urbani nei casi di comprovata necessità da far constatare negli atti autorizzativi e degli impianti di recupero rifiuti speciali non pericolosi da demolizione e costruzione eventualmente esercitati all'interno delle aree di cava per la cui disciplina si rimanda al PAERP;
2. la realizzazione di centri di raccolta, demolizione, rottamazione di autoveicoli, di macchine utensili, di beni di consumo durevoli, anche domestici;
3. attività comportanti l'impiego, la produzione, lo stoccaggio di sostanze pericolose, sostanze radioattive, così come individuate dalla vigente normativa nazionale e comunitaria, ivi comprese quelle sostanze che, in base alle loro caratteristiche di tossicità, persistenza e bioaccumulabilità, possono essere ritenute tali;
4. la realizzazione di oleodotti;
5. l'utilizzo di concimi chimici e fitofarmaci.

Nei corpi idrici superficiali ricadenti nelle aree sensibili di classe 1 o comunque ad esse connessi, le caratteristiche qualitative delle acque devono rientrare, in tutte le condizioni di portata, in quelle stabilite per le acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile nella Tab. 1/A (classe A3) dell'Allegato 2 del D.Lgs. 152/06.

Tale disposizione non si applica nei casi in cui le caratteristiche qualitative delle acque eccedano i limiti per dimostrate cause naturali.

Nei corpi idrici di cui sopra i depuratori di reflui urbani ed industriali sono dotati, se di nuova realizzazione, di opere e di impianti accessori atti ad evitare il rischio di inquinamento connesso al fermo impianti.

Tali opere ed impianti accessori sono realizzati anche nei casi di ristrutturazione ed ampliamento dei depuratori esistenti, che sono comunque adeguati in tal senso entro 3 anni dall'approvazione del piano.

Le pratiche colturali sono orientate alla prevenzione del dilavamento di nutrienti e fitofarmaci, in applicazione del Codice di buona pratica agricola redatto dall'ARSLA.

Nell'esercizio delle attività agricole è comunque da evitarsi lo spandimento di fanghi provenienti da impianti di depurazione; il quantitativo di effluente zootecnico sparso sul terreno ogni anno, compreso quello depositato dagli animali stessi, non deve superare l'apporto di azoto per ettaro, così come previsto dall'Allegato 7, Parte A IV del D.Lgs. 152/06.

Per quanto concerne la regolamentazione delle attività estrattive e dei relativi impianti di lavorazione si rimanda a quanto enunciato Artt. 10.6.4 e 10.6.5 delle presenti norme.

Negli insediamenti urbani, e comprendendo in questi anche tutte le tipologie edilizie approvate sulla base dei Programmi di Miglioramento Agricolo-Ambientale, sia in fase di ristrutturazione e/o recupero, sia in fase di nuova edificazione e di cambiamento di destinazione d'uso in abitativo e/o produttivo ricadenti in aree sensibili di classe 1 sono presi provvedimenti tesi a limitare l'infiltrazione di sostanze inquinanti; le nuove fognature ed eventuali fosse biologiche sono alloggiate in manufatti a tenuta ed ispezionabili.

Ovunque possibile, è da privilegiare il teleriscaldamento od il riscaldamento a gas metano.

Come misura prudenziale non sono da prevedersi ulteriori carichi urbanistici interessanti le aree sensibili di classe 1; eventuali previsioni dovranno comunque, sulla scorta di appositi specifici studi (da redigersi secondo quanto previsto all'Art.11.1. comma 2), dimostrare la compatibilità con gli obiettivi di tutela, qualitativa, di cui alla presente disciplina.

In tali zone, oltre alla adozione di misure tese ad evitare l'infiltrazione di sostanze inquinanti, i comuni prevedono tipologie edilizie che non richiedano la realizzazione di pali trivellati o di scavi profondi che creino vie preferenziali di infiltrazione dal suolo alle falde sotterranee escludendo da tale vincolo la parte pedologica superficiale di copertura della roccia in posto e/o il riporto.

Comunque gli scavi non sono possibili dove la soggiacenza della falda è minore di 10 m dal piano campagna (fatto salvo quanto previsto al capoverso precedente), mentre per soggiacenza maggiore di 10 m dal piano campagna è possibile effettuare scavi tali che la profondità della falda dal piano di fondazione non risulti mai inferiore a 10 m e comunque in misura non superiore al 10% della reale soggiacenza locale, fino ad un massimo di 5 m, comprensivi dello spessore di suolo e/o riporto.

Per la regolamentazione in materia di attività estrattive insistenti in classe di sensibilità 1, si rimanda a quanto disposto negli Artt. 10.6.4 e 10.6.5 delle presenti

norme.

Nel restante territorio, tutte le attività, anche produttive, avendo come riferimento le condizioni topografiche naturali, che prevedono escavazioni sono da ritenersi:

- Incompatibili per soggiacenza della falda minore o uguale a 10 m dal piano campagna;
- Compatibili per soggiacenza della falda maggiore di 10 m, ma minore di 50 m dal piano campagna, qualora si prevedano interventi di escavazione che non superino il 5% della reale soggiacenza locale;
- Compatibili per soggiacenza della falda maggiore di 50 m, ma minore di 100 m dal piano campagna, qualora si prevedano interventi di escavazione che non superino il 10% della reale soggiacenza locale; compatibili per soggiacenza della falda maggiore di 100 m, qualora si prevedano interventi di escavazione che non superino il 20% della reale soggiacenza locale;
- Compatibili per soggiacenza della falda maggiore di 100 m, ma minore di 150 m dal piano campagna, qualora si prevedano interventi di escavazione che non superino il 20% della reale soggiacenza locale;
- Compatibili per soggiacenza della falda maggiore di 150 m, qualora si prevedano interventi di escavazione che non superino il 30% della reale soggiacenza locale.

Le AATO, le Autorità di Bacino, la Provincia e la Regione possono individuare forme di compensazione da erogare ai comuni al fine di attenuare i costi aggiuntivi delle trasformazioni, a carico di enti pubblici e di soggetti privati, resi necessari dal rispetto della disciplina di tutela degli acquiferi di classe 1.

Art. 10.1.3 Disciplina delle aree sensibili di classe 2

Nelle aree sensibili di classe 2, così come individuate nella Tav. ST IG 1, le attività antropiche sono orientate in modo da perseguire la limitazione delle infiltrazioni di sostanze inquinanti.

I depuratori di reflui urbani ed industriali sono dotati, se di nuova realizzazione, di opere e di impianti accessori atti ad evitare il rischio di inquinamento connesso al fermo impianti.

Tali opere ed impianti accessori sono realizzati anche nei casi di ristrutturazione ed ampliamento dei depuratori esistenti.

Opere ed impianti accessori atti ad evitare il rischio di inquinamento delle falde sono da prevedersi anche per la realizzazione di:

- impianti e strutture di depurazione di acque reflue, ivi comprese quelle di origine zootecnica;
- impianti di raccolta, stoccaggio o trattamento rifiuti di qualsiasi tipo;
- centri di raccolta, demolizione, rottamazione di autoveicoli, di macchine utensili, di beni di con-

sumo durevoli, anche domestici;

- attività comportanti l'impiego, la produzione, lo stoccaggio di sostanze nocive, sostanze radioattive, prodotti e sostanze chimiche pericolose, così come individuate dalla vigente normativa nazionale e comunitaria, ivi comprese quelle sostanze che, in base alle loro caratteristiche di tossicità, persistenza e bioaccumulabilità, possono essere ritenute tali;
- tubazioni di trasferimento di liquidi diversi dall'acqua.

In tali aree devono essere limitati allo stretto necessario i nuovi impegni di suolo a fini insediativi e infrastrutturali.

Nei corpi idrici superficiali ricadenti nelle aree sensibili di classe 2 o comunque ad esse connessi, le caratteristiche qualitative delle acque devono rientrare, in tutte le condizioni di portata, in quelle stabilite per le acque per salmonidi dalla Tab. 1/B dell'Allegato 2 del D.Lgs. 152/06, fatti salvi i casi citati nel comma terzo dell'Art. 10.1.2.

Negli insediamenti urbani, e comprendendo in questi anche tutte le tipologie edilizie approvate sulla base dei Programmi di Miglioramento Agricolo-Ambientale, sia in fase di ristrutturazione e/o recupero, sia in fase di nuova edificazione e di cambiamento di destinazione d'uso in abitativo e/o produttivo ricadenti in aree sensibili di classe 2 sono presi provvedimenti tesi a limitare l'infiltrazione di sostanze inquinanti; le nuove fognature e le eventuali fosse biologiche sono alloggiare in manufatti a tenuta ed ispezionabili.

Ovunque possibile, è da privilegiare il teleriscaldamento od il riscaldamento a gas metano.

La previsione di nuovi insediamenti urbanistici interessanti le aree sensibili di classe 2 dovranno sempre essere accompagnate da specifici studi (da redigersi secondo quanto previsto all'Art.10.11), atti a dimostrare la compatibilità con gli obiettivi di tutela, qualitativa, di cui alla presente disciplina.

In tali zone, oltre alla adozione di misure tese ad evitare l'infiltrazione di sostanze inquinanti, i comuni prevedono tipologie edilizie che non richiedano la realizzazione di pali trivellati o di scavi profondi che creino vie preferenziali di infiltrazione dal suolo alle falde sotterranee escludendo da tale vincolo la parte pedologica superficiale di copertura della roccia in posto e/o il riporto.

Comunque gli scavi non sono possibili dove la soggiacenza è minore di 10 m dal piano campagna (fatto salvo quanto previsto al capoverso precedente), mentre per soggiacenza maggiore di 10 m dal piano campagna è possibile effettuare scavi tali che la profondità della falda dal piano di fondazione non risulti mai inferiore a 10 m e comunque non superiore al 20% della reale soggiacenza locale, fino ad un massimo di 6 m, comprensivi dello spessore di suolo e/o riporto.

Per la regolamentazione in materia di attività estrat-

tive insistenti in classe di sensibilità 2, si rimanda a quanto disposto negli Artt. 10.6.4 e 10.6.5 delle presenti norme.

Nel restante territorio, tutte le attività, anche produttive, avendo come riferimento le condizioni topografiche naturali, che prevedono escavazioni sono da ritenersi:

- Incompatibili per soggiacenza della falda minore o uguale a 10 m dal piano campagna;
- Compatibili per soggiacenza della falda maggiore di 10 m, ma minore di 50 m dal piano campagna, qualora si prevedano interventi di escavazione che non superino il 25% dell'eccedente i 10 m di soggiacenza;
- Compatibili per soggiacenza della falda maggiore di 50 m, ma minore di 150 m dal piano campagna, qualora si prevedano interventi di escavazione che non superino il 20% della reale soggiacenza locale;
- Compatibili per soggiacenza della falda maggiore di 150 m, qualora si prevedano interventi di escavazione che non superino il 30% della reale soggiacenza locale.

Art. 10.1.4 Procedure di richiesta di deperimetrazione da utilizzarsi nei Piani Urbanistici

Le Carte della Vulnerabilità (Tavv. QC IG 9 e QC IG 10) e della Sensibilità (Tav. ST IG 1) sono modificabili solo dall'Amministrazione Provinciale in sede di revisione e/o aggiornamento del PTCP utilizzando la procedura SIPS illustrata nella Relazione Finale delle indagini Geologico-Applicate (seconda parte) e nell'Allegato Tecnico n°1 alla medesima. I Comuni (anche su richiesta da parte di privati) possono richiedere al competente Ufficio Provinciale la deperimetrazione di un'area in Sensibilità 1 o 2 sulla base di studi geologici, geotecnici e idrogeologici comprovanti la variazione dei parametri che hanno portato alla definizione di quella classe di Vulnerabilità, ed in particolare:

- diversa soggiacenza della falda;
- diversa litologia e quindi permeabilità.

Tale procedura non porterà ad una revisione immediata delle Carte della Vulnerabilità e della Sensibilità, ma potrà, a cura del competente Ufficio Provinciale, portare ad una concessione di diverso uso del territorio interessato dalle indagini, confacenti alla nuova classe di sensibilità che tale ufficio, sulla base dei nuovi dati conoscitivi, gli assegnerà.

Conclusioni

La necessità dell'adozione di una nuova metodologia per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi a scala di area vasta sottolinea quanto la problematica della corretta gestione delle risorse idriche inizi ben prima che l'acqua venga utilizzata.

Questo metodo rappresenta un esempio di procedimento semi-parametrico applicato ad un territorio esteso, come la Provincia di Siena.

Se da un lato esso presenta ancora la necessità di un affinamento dei punteggi (che potrà ottenersi solo dopo una sua sperimentazione) aggravata dal problema dell'insufficienza e della disomogeneità dei dati a disposizione dell'operatore che impedisce l'ottenimento di dati più dettagliati e precisi, dall'altro il criterio proposto rappresenta un discreto passo in avanti rispetto alla precisione raggiungibile con il metodo CNR-GNDICI (zonazione per aree omogenee), pur risultando di minor dettaglio rispetto alla metodologia strettamente parametrica SINTACS, da cui prende ispirazione, essendo fortemente semplificato allo scopo di renderlo applicabile alle valutazioni della vulnerabilità intrinseca di area vasta.

In particolare le differenze del S.I.P.S. col metodo parametrico suddetto consistono essenzialmente:

- nel raggruppare in un unico parametro tutti quelli che nel SINTACS fanno riferimento o dipendono strettamente dalla permeabilità relativa;
- nel minor numero di classi, e quindi di pesi, rela-

tivi alla discretizzazione di ciascun parametro, con l'esclusione della permeabilità;

- nella riduzione degli scenari di impatto a solo 2, uno per la classe di permeabilità molto elevata ed uno per le restanti classi.

Alla limitata disponibilità di dati, su vasta area, il metodo impone comunque una definizione "teorica" dei parametri. Quanto più le conoscenze sono diffuse tanto più il metodo diventa parametrico, ma è sempre e comunque applicato omogeneamente su tutto il territorio e non lascia spazio per eventuali "interpretazioni strumentali", come invece fa il metodo a zonazione per aree omogenee.

Il suo punto di forza è, infatti, quello di avere una maggiore oggettivazione delle valutazioni e una facile aggiornabilità, che consente di avere, soprattutto a lungo termine, un prodotto cartografico "vivo" integrabile con le nuove informazioni disponibili, questo soprattutto in un'ottica pianificatoria che prevede vincoli sul territorio.

Bibliografia

Barazzuoli P., Capacci F., Migliorini J. & Rigati R., 2010 - Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Siena. Indagini Geologiche - Applicate. Relazione finale e Allegati Tecnici.

Barazzuoli P. & Salleolini M. 1993 - L'acqua: risorsa, rischio e pianificazione. In: La storia naturale della Toscana meridionale. Monte dei Paschi di Siena, Ed. Pizzi, Milano.

Barazzuoli P., Filpa A., Mocenni B., Rigati R. & Salleolini M. 2002 - La tutela delle acque sotterranee nella pianificazione territoriale: un esempio dal PTC di Siena. *Geologia Tecnica & Ambientale* 4, 13-26.

Barazzuoli P., Capacci F., Migliorini J., Mocenni B., Rigati R., Salleolini M. 2005 - La Vulnerabilità degli Acquiferi all'inquinamento nell'ambito dello Schema Metropolitano dell'Area Senese. *Giornale di Geologia Applicata* 2, 151-157.

Capacci F., Migliorini J., Barazzuoli P. 2008 - Studio idrogeologico dell'acquifero del Luco (Toscana, Italia). *Giornale di Geologia Applicata* 8 (1), 29-39.

Celico P. 1988 - *Prospezioni Idrogeologiche* Vol. I e II. Liguori Editore, Napoli.

Civita M. 1987 - La previsione e la prevenzione del rischio di inquinamento delle acque sotterranee a livello regionale mediante le carte di vulnerabilità. Atti del Convegno "Inquinamento delle Acque Sotterranee: Previsione e Prevenzione", Mantova, Prov. MN, Ass. Amb. e Ecol., 9-17.

Civita M. 1990 - Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei/Unified legend for the aquifer pollution vulnerability maps. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle Acque Sotterranee", Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi 1 (Appendice), Pitagora Editrice, Bologna.

Civita M. 1994 - Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle Acque Sotterranee", 31, Pitagora Editrice, Bologna.

Civita M., Filippini G., Marchetti G., Paltrinieri N., Zavatti A. 1995 - Uso delle carte di vulne-

rabilità degli acquiferi all'inquinamento nella pianificazione e gestione del territorio. Quaderni di Geologia Applicata vol.1, suppl. 3, pp. 3.

Civita M. & De Maio M. 1997 - SINTACS. Un sistema parametrico per la valutazione della cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Metodologia ed automazione. Quaderni di tecniche di protezione ambientale. Pitagora Editrice, Bologna, 191 pp.

Civita M. & De Maio M. 2006 - Un manuale per l'analisi di sito e la vulnerabilità del rischio di inquinamento.

Decreto Legislativo 3 Aprile 2006 n.152 - Norme in materia ambientale.

DGRT n.225/2003 - CISS (Corpi Idrici Significativi Sotterranei) Regione Toscana.

Thornthwaite C.W. & Mather J.R., 1957 - Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Thornthwaite Associates, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J.